

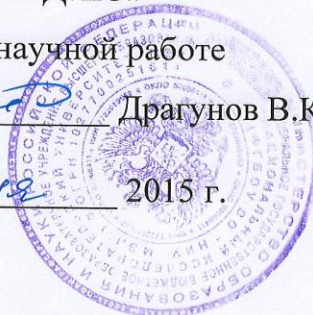
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 01.04.13 Электрофизика,
электрофизические установки

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины

«Электрофизика, электрофизические установки»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ОД.2

Всего: 252 часа

Семестр 5, 144 часа, в том числе 6 часов – контактная работа,
138 часа – самостоятельная работа,

Семестр 6, 108 часов, в том числе 6 часов – контактная работа,
66 часов – самостоятельная работа,
36 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 01.04.13 Электрофизика, электрофизические установки, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение принципов исследования и моделирования электрофизических явлений, построения и применения электрофизических устройств и установок.

Задачами дисциплины являются:

- изучение терминологии, основных моделей и методов, применяемых для исследования и моделирования электрофизических явлений;
- овладение способами анализа электромагнитной обстановки, расчета воздействий со стороны электротехнических и электрофизических устройств и установок на устройства контроля и управления, на биологические объекты;
- овладение базовыми принципами построения электрофизических устройств и установок различного назначения.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6);

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);
- способность проведения исследований по проблемам экологической и электромагнитной совместимости электрофизических установок с биологическими, физическими и информационными объектами (ПК-1);
- способность проведения исследований электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах для нужд электронной, приборостроительной, электротехнической промышленности, средств вычислительной техники и связи (ПК-2);
- способность разрабатывать теоретические основы и техническую базу энергетики мощных импульсов, включая процессы коммутации больших импульсных токов, нагрев и взрыв проводников, системы электропитания электрофизических комплексов (ПК-6).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- теоретические основы и техническую базу энергетики мощных импульсов (ПК-6);

уметь:

– следовать этическим нормам в профессиональной деятельности, в части прогнозирования рисков, связанных с воздействием электромагнитных полей на людей и окружающую среду (УК-5);

– планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6);

– организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);

– проводить исследования по проблемам экологической и электромагнитной совместимости электрофизических установок с биологическими, физическими и информационными объектами (ПК-1);

– проводить исследования электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах (ПК-2);

– разрабатывать новые методы исследования и проектирования электрофизических устройств и установок (ОПК-3);

владеть:

– способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений в области электрофизики (УК-1);

– методологией теоретических и экспериментальных исследований в области электрофизики (ОПК-1);

– культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Формула специальности

Научная специальность, объединяющая исследования по механизмам взаимодействия физических тел, веществ, макро- и микрочастиц с электрическим, магнитным и электромагнитным полями в различных средах и вакууме, по совершенствованию существующих и поиску новых методов и принципов использования электрофизических явлений в технических приложениях.

В рамках специальности решаются теоретические и технические проблемы по построению электрофизических установок, позволяющих создавать сильные электромагнитные поля, с большой плотностью энергии, высокой скоростью ее изменения и большой электрической прочностью на высоких частотах в вакууме и газе, мощные электрические дуговые разряды, исследовать вопросы совместимости сильного электромагнитного поля с экологическими системами, физическими, биологическими, химическими и информационными объектами.

Области исследований

1. Исследование физических явлений при накоплении и трансформации электромагнитной энергии. Физические процессы формирования и развития электрического разряда в газообразных, жидких, твердых и комбинированных средах. Ударные волны, инициированные разрядом. Технические применения разряда в плотных средах и газе.

2. Исследование физических процессов в накопителях энергии индуктивного, емкостного, инерционного, высокочастотного, взрывомагнитного и других типов, разработка конструкций накопителей. Разработка теоретических основ и технической базы энергетики мощных импульсов, включая процессы коммутации больших импульсных токов, нагрев и взрыв проводников, системы электропитания крупных электрофизических комплексов.

3. Создание установок для получения сильных и сверхсильных электромагнитных полей на базе сверхпроводящих магнитных систем, соленоидов сверхсильного магнитного поля, магнитной кумуляции. Создание установок для генерации мощных импульсов сверхвысоких частот на основе сильноточных пучков.

4. Физические закономерности разряда в газах, в газовых потоках и мощных дуговых разрядах, электродные явления. Разработка газоразрядных, импульсных источников излучения и систем накачки лазеров, генераторов высокотемпературной и низкотемпературной плазмы и методов диагностики параметров плазмы, принципов получения и диагностики струи плотной плазмы и ее ускорения, электрогазодинамического ускорения тел.

5. Системы переработки и утилизации отходов электромагнитными и электродуговыми методами. Плазмохимические, металлургические и другие устройства на основе применения мощных электрических дуговых разрядов и электромагнитных полей.

6. Мегавольтные формирующие линии, получение и транспортировка релятивистских электронных пучков, разработка новых технологических процессов с электронными пучками.

7. Изучение процессов при движении микро- и макрочастиц в электрическом поле, создание ускорителей микро- и макрочастиц для научных и прикладных целей, включая разработку систем высокочастотного питания, ускоряющих, фокусирующих и вакуумных систем, вопросы автоматизации управления ускорителями и диагностики пучков. Новые технологические процессы с ускорителями микро- и макротел, исследование электрофизических процессов в технологических установках, использующих сильные электрические поля.

8. Физические процессы высоковакуумной откачки электрофизических комплексов. Элементы вакуумных систем крупных электрофизических комплексов, методы расчета их параметров.

9. Исследование электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах для нужд электронной, приборостроительной, электротехнической промышленности, средств вычислительной техники и связи.

10. Исследования по проблемам экологической и электромагнитной совместимости электрофизических установок с биологическими, физическими, химическими и информационными объектами.

Отрасль науки, по которой диссертация представляется на защиту:

- технические науки,
- физико-математические науки (1, 2, 4, 7, 9)

Основы электродинамики

Электростатика. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Проводники в электрическом поле. Работа электрических сил, потенциал электрического поля. Уравнение Пуассона и Лапласа. Энергия электрического поля. Пондермоторные силы. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Тензор напряжений электрического поля. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики. Магнитостатика. Магнитное поле постоянных токов. Сила Лоренца. Пондермоторные силы в магнитном поле. Магнитное поле в веществе. Намагниченность магнитов. Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла. Теорема Пойнтинга. Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Скин-эффект. Распространение электромагнитного поля в волноводах. Электромагнитные колебания в полых резонаторах. Излучение заряженных частиц. Условия излучения в неограниченном пространстве. Поле излучения системы зарядов. Излучение релятивистской частицы. Магнитотормозное излучение. Переходное излучение. Черенковское излучение электромагнитных волн в среде.

Основы теории электрических цепей

Линейные цепи. Методы расчета линейных электрических цепей в стационарном режиме. Уравнения Кирхгофа. Метод комплексных амплитуд. Цепи с зависимыми источниками. Цепи с взаимными индуктивностями. Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Цепи с распределенными параметрами. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в стационарном режиме. Согласование длинных линий. Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме. Синтез линейных электрических цепей. Синтез пассивных двухполюсников. Свойства входных функций пассивных двухполюсников. Элементы синтеза четырехполюсника. Нелинейные цепи. Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока. Метод условной линеаризации. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Феррорезонанс. Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме. Цепи с инерционными элементами, параметрические цепи.

Строение вещества

Газы. Основы кинетической теории газов. Давление газа, уравнение состояния идеального газа. Распространение звуковых волн в идеальном газе. Плазма. Основные понятия. Кинетическая теория плазмы, распределение

частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Термическая ионизация, уравнение Саха. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Проводимость низкотемпературной плазмы. Проводимость полностью ионизированного газа (формула Спитцера). Образование непрерывного спектра в плазме. Свободно-свободные и свободно-связанные переходы в нагретом ионизированном газе. Системы и методы плазменной энергетики. Плазменный пиролиз органических веществ. Плазменные системы переработки токсичных отходов. Генераторы низкотемпературной плазмы (плазмотроны), физические основы и техническая реализация. Жидкости. Явление переноса в жидкостях. Твердые тела. Кристаллическая решетка. Зонная модель. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Явление сверхпроводимости.

Вещество в сильном электромагнитном поле

Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия. Газовый разряд. Формы разряда в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стримерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд. Изоляционные свойства газовых диэлектриков. Сильноточный газовый разряд в плотных средах. Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Топливные элементы. Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях. Проводимость. Криопроводимость. Сверхпроводимость. Эффект Холла. Термоэлектричество. Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях. Эффект Месснера. Остаточное сопротивление.

Накопление и коммутация энергии больших мощностей

Пространственно-временная концентрация энергии. Способы накопления энергии и типы накопителей. Характеристики накопителей энергии, сравнительные характеристики различных типов накопителей. Максимальная плотность энергии у различных типов накопителей, физические ограничения на плотность энергии в накопителях. Способы передачи энергии от накопителей к нагрузке, оптимизация процесса передачи энергии. Емкостные накопители энергии. Емкостные накопители энергии на основе малоиндуктивных

импульсных конденсаторов. Принципы построения генераторов импульсных напряжений и генераторов импульсных токов. Классификация емкостных накопителей энергии. Защита конденсаторных батарей на высокую энергию. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на основе конденсаторов (вакуумные, газовые, жидкостные разрядники, разрядные колонны). Методы формирования импульсов с помощью емкостных накопителей энергии. Емкостные накопители на линиях с распределенными параметрами. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на линиях с распределенными параметрами различных типов (газовые, жидкостные и твердотельные разрядники, разрядники V/N-типа, рельсовые разрядники).

Физика сильноточных пучков заряженных частиц

Распространение сильноточных пучков в вакууме. Предельный ток Альвена. Формирование виртуального катода. Нейтрализованный, самосфокусированный пучок. Е-слой. Магнитная изоляция в диодах и линиях передач. Распространение сильноточных пучков в плазме и газе. Электромагнитные поля, возбуждаемые пучком при инжекции. Генерация сильноточных электронных и ионных пучков. Взрывная эмиссия в сильноточном диоде. Сильноточные ионные диоды – диод с магнитной изоляцией, рефлексный диод, пинч-рефлексный диод. Волны и неустойчивости в сильных пучках заряженных частиц. Волны в холодной стационарной плазме. Продольные волны в холодной дрейфующей плазме. Электростатическая и электродинамическая неустойчивости волн пространственного заряда. Циклотронный резонанс. Неустойчивости в многокомпонентной системе. Особенности физических процессов в низкотемпературной плазме. Плазмохимические, металлургические и другие устройства на основе совместного применения мощных электрических дуговых разрядов и электромагнитных полей.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

6 семестр – кандидатский экзамен.

Вопросы для самоконтроля и проведения кандидатского экзамена

1. Диэлектрики (классификация, основные свойства, математические модели, материальные уравнения).
2. Магнитное поле в веществе (классификация сред, основные свойства, математические модели, материальные уравнения).
3. Уравнения Максвелла, теорема Пойнтинга.
4. Распространение электромагнитного поля в волноводах, типы волн, собственные колебания в объемных резонаторах.
5. Излучение заряженных частиц (нерелятивистские и релятивистские частицы, магнитотормозное излучение, переходное излучение, Черенковское излучение).
6. Решение телеграфных уравнений в стационарном режиме, согласование, согласующие устройства.
7. Феррорезонанс – особенности описания цепей с инерционными элементами, отличия от случая безынерционных нелинейностей.
8. Основные положения кинетической теории газов (давление газа, уравнение состояния идеального газа, распространение звуковых волн).
9. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений.
10. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме, термическая ионизация, уравнение Саха, Дебаевский радиус.
11. Физика твердого тела – зонная модель, классификация веществ (проводники, полупроводники, диэлектрики), зависимости от температуры, сверхпроводимость.
12. Эмиссия заряженных частиц (термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия).
13. Лавинный разряд, закон Пашена.
14. Коронный и тлеющий разряды.
15. Дуговой разряд.
16. Твердые тела в сильных полях, криопроводимость, эффект Холла, термоэлектричество. Особенности пробоя в твердом диэлектрике.
17. Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях. Эффект Месснера.
18. Методы формирования импульсов с помощью емкостных накопителей энергии.

19. Генерация сильнооточных электронных и ионных пучков – применение сильнооточных диодов.

20. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на основе конденсаторов (типы разрядников, их основные характеристики).

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 2 Теория поля. Т. 5 Электродинамика сплошных сред / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматгиз, 2001.

2. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника М.: Наука, 2008, 704с

3. Диденко А. Н. СВЧ-энергетика: Теория и практика. - М.: Наука, 2003, 446 с.

4. Кухаркин Е. С. Электрофизика информационных систем. –М.: Высшая школа -2001. -671 с.

5. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. / К. С. Демирчян, и др. . – СПб. : Питер, 2009

6. Нгуен-Куок Ши Основы математического моделирования низкотемпературной плазмы. – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 446 с.

7. Нгуен-Куок Ши Квантомеханический расчет упругих рассеяний частиц в аргоновой плазме. – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 52 с.

8. Месяц Г. А. Взрывная электронная эмиссия– М. : Физматлит, 2011 . – 280 с.

9. Фортов В. Е. Физика высоких плотностей энергии – М. : Физматлит, 2012 . – 712 с.

10. Фортов В. Е. Экстремальные состояния вещества – М. : Физматлит, 2009 . – 304 с.

11. Дьяков А. Ф., Максимов Б. К., Борисов Р. К. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике– М. : Изд. дом МЭИ, 2011 – 544 с.

Дополнительная литература:

12. Белоконь А.В., Скалиух А.С. Математическое моделирование необратимых процессов поляризации -М.: Физматлит, 2010, 328 с.

13. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии -М.: Физматлит, 2009, 286 с.

14. Фортов В. Е., Храпак А. Г., Якубов И. Т. Физика неидеальной плазмы -М.: Физматлит, 2010, 528 с.

15. Бойко В. И., Скворцов В. А., Фортов В. Е., Шаманин И. В. Взаимодействие импульсных пучков заряженных частиц с веществом -М.: Физматлит, 2003, 288 с.

16. Шакиров М. А. Теоретические основы электротехники. Тензоры в ТОЭ. Электродинамика. Теория относительности – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011 . – 315 с.